植 物 分 类 与 资 源 学 报 2012, **34** (5): 459~465
Plant Diversity and Resources DOI: 10.3724/SP. J. 1143. 2012. 12068

烟草种间杂交亲和性*

姚 恒[1], 郑昀晔[1], 索文龙[2], 马文广[1]**
(1 云南省烟草农业科学研究院, 云南 玉溪 653100; 2 玉溪中烟种子公司, 云南 玉溪 653100)

摘要: 以野生烟草 *Nicotiana alata*、*N. rustica*、*N. repanda*、*N. stocktonnii* 与栽培烟草 K326、红花大金元、Yun87、Yun97 为材料, 进行种间正反杂交, 研究种间杂交亲和性。田间观察杂交后的坐果情况并统计坐果率, 采用显微荧光染色观察授粉后花粉管在雌蕊上的生长情况, 并结合杂交后代萌发检测的方法。结果表明: *N. rustica*、*N. repanda*、*N. stocktonnii* 与栽培烟草杂交不亲和。*N. rustica* 花粉能够穿过 K326 花柱, *N. repanda* 和 *N. stocktonnii* 花粉在 K326 柱头上很少萌发生长。*N. alata* 花粉可以穿过 K326 的花柱, 并得到果实, 但是萌发实验显示其种子无活力。*N. alata* 作为母本与栽培烟草杂交不亲和。

关键词: 烟草; 烤烟; 亲和性; 杂交; 显微荧光
中图分类号: Q 943 **文献标识码**: A **文章编号**: 2095-0845(2012)05-459-07

Cross-compatibility of Interspecific Cross in Tobacco

YAO Heng[1], ZHENG Yun-Ye[1], SUO Wen-Long[2], MA Wen-Guang[1]**
(1 *Yunnan Academy of Tobacco Agricultural Science*, Yuxi 653100, China;
2 *Yuxi China Tobacco Seed Co., Ltd*, Yuxi 653100, China)

Abastract: Four wild species of tobacco (*Nicotiana alata*, *N. rustica*, *N. repanda* and *N. stocktonnii*) and four flue-cured tobacco (K326, Hongda, Yun87, Yun97), were used as experimental materials in this research. The interspecific reciprocal crosses were carried out in order to study the compatibility. The seed setting percentage of cross was counted in field, and then test seed germination. Pollen tube behaviors were observed via fluorescence microscope after pollination. The results indicated that *N. rustica*, *N. repanda* and *N. stocktonnii* were incompatibility with the flue-cured tobacco. The pollen of *N. rustica* passed through the pistil of K326, but the pollens of *N. repanda* and *N. stocktonnii* were rarely growth on the pistil of K326. In spite of the pollen of *N. alata* passed through the pistil of K326, the hybrid tobacco seed had no vigor by the seed germination test. The female of *N. alata* was incompatibility with the flue-cured tobacco.

Key words: Tobacco; Flue-cured tobacco; Compatibility; Cross; Fluorescent microscope

目前世界范围内最常规、最重要的育种方法仍然是杂交育种。但是, 在杂交育种过程中往往出现杂交不亲和, 表现为授粉后花粉粒不能萌发、花粉管不能进入柱头、不能到达子房而完成受精以及杂种不育等 (睢薇等, 1999; 曹后男, 2004; 马瑞娟等, 2005)。因此克服杂交不亲和性是杂交育种基础研究中的一个热点。

很多观赏植物已开展了种间杂交研究 (Yabuya 和 Yamagata, 1978; 杨利平等, 1997; 杨志玲等, 2004; 朱根发等, 2005; 李辛雷等, 2008; 刘红霞, 2009; 刘思余等, 2010; 蔡明等, 2010; 王冲等, 2011), 并成功获得了种间杂交后代或培育出了新的品种。在我国烟草主要栽培种是普通 (红花) 烟草 (*Nicotiana tabacum* L.), 而用于

* 基金项目: 中国烟草总公司云南省公司计划项目烟草柱头与花粉的亲和性及调控技术研究应用 (2011YN09)
** 通讯作者: Author for correspondence; E-mail: mwg@tobacco-seed.com
收稿日期: 2012-05-07, 2012-06-18 接受发表
作者简介: 姚 恒 (1976-) 男, 博士, 主要从事烟草品种选育及种子科学方面研究。E-mail: yaohn@126.com

杂交选育的则还包括 *N. alata*（花烟）、*N. repanda*（残波烟草）、*N. rustica*（黄花烟）、*N. stocktonnii*（斯托克通氏烟草）等烟草。国内野生烟与烤烟种间杂交实验进行的很少，主要集中在利用体细胞杂交克服种间杂交障碍方面（陈名红等, 2006），但是体细胞杂交的作用要与常规育种相结合才能发挥出来（孙玉合等, 1998）。在国外，有利用野生烟资源和普通烟草进行杂交而选育出各种抗病烟草新品种的报道（Valleau 等, 1960；Chaplin, 1962；Palakarcheva, 1991）。

利用荧光显微观察授粉后花粉萌发及花粉管伸长（李守丽等, 2006；王文和等, 2007；Jiang 等, 2009）和石蜡切片观察受精后胚胎发育过程（李小英等, 2010）的方法，能够直接观察种间杂交产生障碍的部位。而采用切割柱头、花粉蒙导、植物激素处理柱头、胚培养等方法能够克服某些品种的杂交不亲和（陈琼等, 2007；Liu 和 Chen, 1999；栗艳龄等, 2008；van Tuyl 等, 2000）。但在烟草种间杂交研究中很少有类似的文献报道。

本研究对烟草属 8 个种间进行正反交，调查杂交坐果率，并利用荧光显微观察授粉后花粉在柱头上的萌发和花粉管伸长过程，判断烟草种间杂交亲和性。明确烟草种间正反交坐果情况，揭示了授粉后野生烟花粉在烤烟雌蕊上萌发与花粉管伸长状况。

1 材料与方法

1.1 材料

野生烟 *N. alata*、*N. rustica*、*N. stocktonnii*、*N. repanda* 与烤烟 K326、MSK326（雄性不育 K326）、红大（Hongda）、云烟 97（Yun97）、云烟 87（Yun87）。

1.2 方法

1.2.1 *授粉方法* 收集上述实验材料的花粉，在烟株最佳授粉期，将各个野生烟与栽培烟草做正反交杂交授粉。用棉签粘取花粉均匀涂抹于母本柱头上，每朵花授粉 1 次，授粉后立即套袋，挂牌标记。每组杂交组合授粉 100 朵花，3 次重复。授粉结束 7 天后统计母本烟株的坐果率。坐果率计算公式：

坐果率=结果数/授粉花数×100%。

1.2.2 *种子发芽实验* 待蒴果成熟后，分重复进行单果采收。采收的蒴果经脱粒、筛选、复晒后装袋备用。在培养皿中垫 2 层湿润滤纸，每个培养皿均匀放置 100 粒种子，加盖。将种子置于光照培养箱内，25 ℃下每天光照 12 h 发芽，发芽期间保持滤纸湿润。14 d 发芽结束后，观察各杂交组合后种子的萌发情况。

1.2.3 *荧光检测杂交亲和性方法* 取各种杂交组合授粉后的花柱，纵切成 150 μm，苯胺蓝（0.1% in 0.1 mol·L^{-1} K_3PO_4）染色，用合适的滤光片，荧光紫外镜检。

2 结果与分析

2.1 *N. rustica* 与栽培烟草杂交亲和性

N. rustica 作为父本、栽培烟草作为母本杂交的结果如表 1 所示，*N. rustica* 与 K326 的杂交后坐果率最高，其次是 Yun87，与 Hongda 和 Yun97 的坐果率极低。将 *N. rustica* 作为母本，与栽培烟草作为父本杂交结果显示：*N. rustica* 与 Yun87 的坐果率最高，其次与 K326 和 Hongda 杂交后的坐果率相差不大，但是与 Yun97 的坐果率较低。

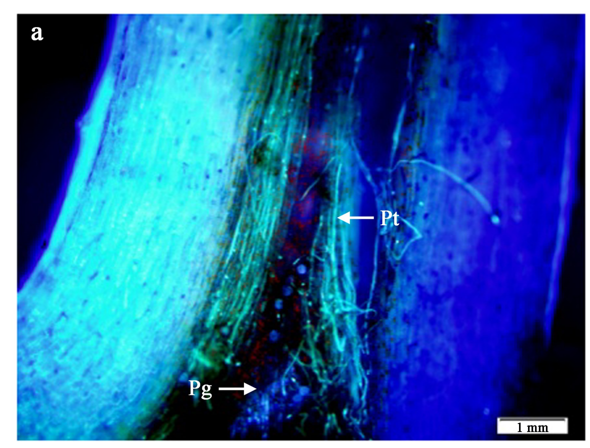
表 1 *N. rustica* 与栽培烟草杂交坐果率

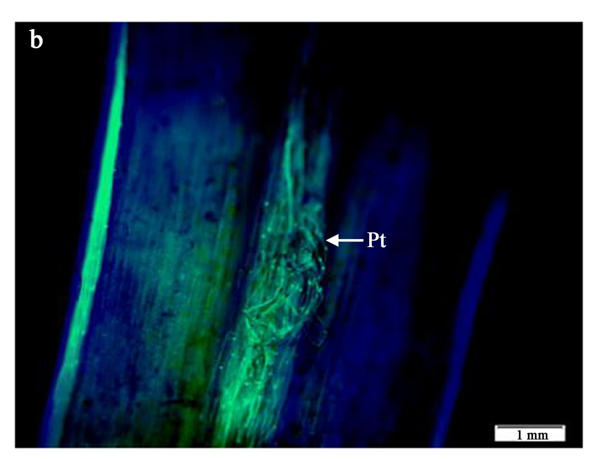
Table 1 The seed set of hybridization between *N. rustica* and *N. tabacum*

杂交组合（♂×♀）Cross combinations	授粉花朵数 No. of flowers pollinated	坐果数 No. of fruits obtained	坐果率 Fruit setting rate/%	萌芽 Germination
N. rustica×K326	101	82	81.1	–
N. rustica×MSK326	124	90	72.5	–
N. rustica×Hongda	98	4	4	–
N. rustica×MS87	41	20	48.7	–
N. rustica×Yun97	95	2	2.1	–
K326×*N. rustica*	103	64	62.1	–
Yun97×*N. rustica*	104	30	28.9	–
Hongda×*N. rustica*	99	59	59.6	–
Yun87×*N. rustica*	100	64	64.0	–

收取各杂交组合后的种子，做室内萌发检验。萌发后的结果显示，*N. rustica* 与栽培烟草杂交后的种子绝大部分都不萌发。

通过荧光染色观测的方法揭示 *N. rustica* 花粉在 K326 柱头上萌发生长的情况。如图 1 所示，*N. rustcia* 和 K326 杂交后，*N. rustcia* 在 K326 柱头上大量萌发（图 1：a），并且随着时间的延长能够深入到花柱中部（图 1：b）；但是当授粉 48 h 后，截取靠近子房上方花柱的一部分，做荧光染色观察，发现 *N. rustica* 花粉管不能伸长到这个部位（图 1：c）。这说明 *N. rustica* 和栽培烟草不亲和是由于 *N. rustica* 的花粉管在 K326 的





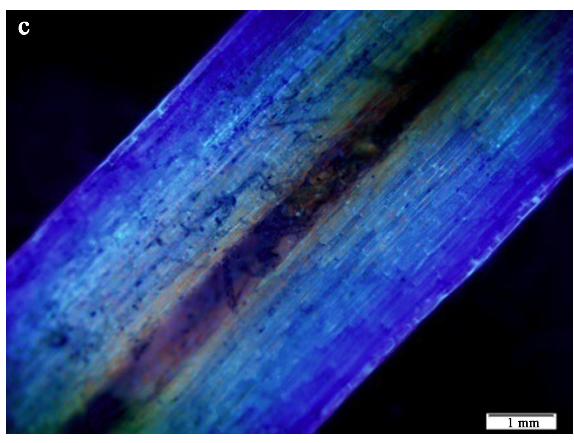


图 1　*N. rustica* 花粉管在 K326 花柱中生长

a，*N. rustica* 花粉在靠近 K326 烟草花柱上部的生长情况；
b，*N. rustica* 花粉在 K326 烟草花柱中部的生长情况；
c，*N. rustica* 花粉在接近 K326 烟草花柱下部的生长情况；
Pt，花粉管，Pg，花粉粒

Fig. 1　The growth of *N. rustica* pollen at style of K326

a，The growth of *N. rustica* pollen at upper style of K326；
b，The growth *N. rustica* pollen in the middle style of K326；
c，The growth of *N. rustica* pollen in the lower style of K326.
Pt-pollen tubes；Pg-pollen grain. The bar represents 1 mm，all photos are shown at the same magnification

花柱中伸长受到了抑制。

2.2　*N. alata* 与栽培烟草杂交亲和性

N. alata 作为父本，栽培烟草作为母本杂交的结果如表 2 所示。*N. alata* 与各栽培烟草的杂交坐果率都很高，显示 *N. alata* 与栽培烟草的杂交亲和。但是将 *N. alata* 作为母本，栽培烟草作为父本杂交结果恰恰相反，杂交后的 *N. alata* 花朵很快都脱落，不能结实。实验表明，*N. alata* 自交亲和结果率也很低，只在靠近烟茎下部结很少的一部分种子。*N. alata* 盛开的花柱很长，比栽培烟草的花柱长 3～5 cm，这种生理特性可能是花粉管生长伸长到子房的一个障碍。

荧光观察授粉 12 h 后，*N. alata* 花粉管在 K326 柱头上的生长情况如图 2 所示，*N. alata* 花粉管已经深入到 K326 的花柱中。后代萌芽检验发现，*N. alata* 作为父本与栽培烟草杂交后的种子不能正常萌发。说明 *N. alata* 与栽培烟草的杂交亲和，但是后代致死。

2.3　*N. stocktonnii* 与栽培烟草杂交亲和性

N. stocktonnii 作为父本、栽培烟草作为母本杂交的结果如表 3 所示，*N. stocktonnii* 与 MSK326 杂交后坐果率最高，其次是与 Yun87，Hongda 和 Yun97 杂交的坐果率极低。将 *N. stocktonnii* 作为母本，栽培烟草作为父本杂交结果显示与 Hongda 的坐果率最高，其次是与 K326，Yun97 和 Yun87 的杂交坐果率相差不大。如图 3 所示，在授粉 24 h 后，*N. stocktonnii* 花粉在 K326 柱头上绝大部分不萌发。造成这种情况的原因可能有二个，其一是 K326 柱头上的组成成分能够抑制 *N. stocktonnii* 花粉的萌发和生长；其二可能是 *N. stocktonnii* 的花粉本身活力有缺陷。为了进一步验证是否由于 *N. stocktonnii* 本身花粉影响了与 K326 的亲和性，我们做了花粉离体的萌发实验。如图 4 所示，*N. stocktonnii* 与 K326 花粉同样在 0.001% 硼酸和 10% 的蔗糖萌发液中 12 h 生长情况有很大不同。K326 花粉绝大部分都能够萌发和生长，但是 *N. stocktonnii* 花粉萌发率很低。推测 *N. stocktonnii* 花粉的萌发和生长需要的外界条件更加苛刻。进一步通过将各杂交后收获的种子做萌发实验也证实了各杂交后的种子都不能正常萌发。

表2　*N. alata* 与栽培烟草杂交坐果率

Table 2　The seed set of hybridization between *N. alata* and *N. tabacum*

杂交组合 (♂×♀) Cross combinations	授粉花朵数 No. of flowers pollinated	坐果数 No. of fruits obtained	坐果率 Fruit setting rate/%	萌芽 Germination
N. alata×K326	106	105	99.1	–
N. alata×MSK326	125	118	94.4	–
N. alata×Hongda	92	81	88.0	–
N. alata×MS87	126	120	95.2	–
N. alata×Yun97	131	123	93.9	–
K326×*N. alata*	105	0	0	–
Yun97×*N. alata*	107	0	0	–
Hongda×*N. alata*	114	0	0	–
Yun87×*N. alata*	111	0	0	–

表3　*N. stocktonnii* 与栽培烟草杂交坐果率

Table 3　The seed set of hybridization between *N. stocktonnii* and *N. tabacum*

杂交组合 (♂×♀) Cross combinations	授粉花朵数 No. of flowers pollinated	坐果数 No. of fruits obtained	坐果率 Fruit setting rate/%	萌芽 Germination
N. stocktonnii×K326	119	65	54.6	–
N. stocktonnii×MSK326	136	96	70.6	–
N. stocktonnii×Hongda	61	3	4.9	–
N. stocktonnii×MS87	43	28	65.1	–
N. stocktonnii×Yun97	58	2	3.4	–
K326×*N. stocktonnii*	114	88	77.2	–
Yun97×*N. stocktonnii*	91	52	57.1	–
Hongda×*N. stocktonnii*	101	88	87.1	–
Yun87×*N. stocktonnii*	101	61	60.4	–

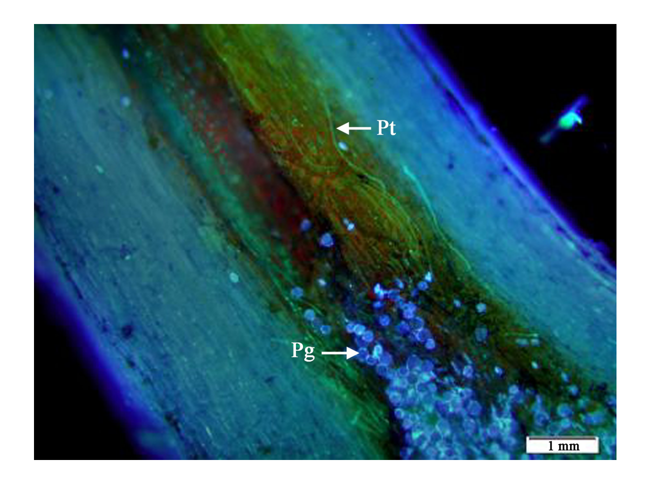


图2　*N. alata* 花粉管在 K326 花柱中生长

Fig. 2　The growth of *N. alata* pollen at style of K326

Pt-pollen tubes; Pg-pollen grain

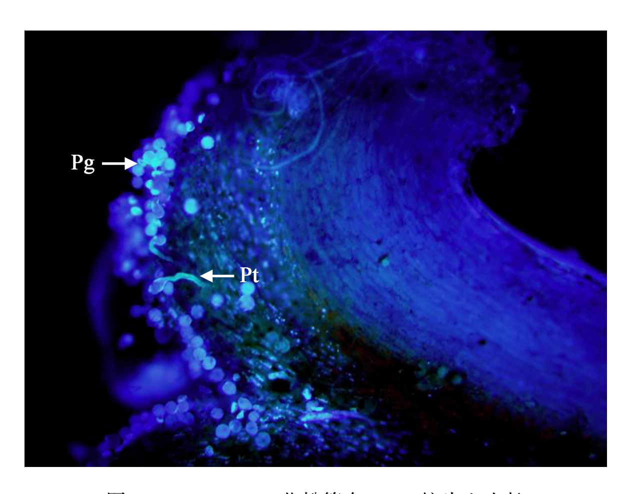


图3　*N. stocktonnii* 花粉管在 K326 柱头上生长

Fig. 3　The growth of *N. stocktonnii* pollen at pistil of K326

Pt-pollen tubes; Pg-pollen grain



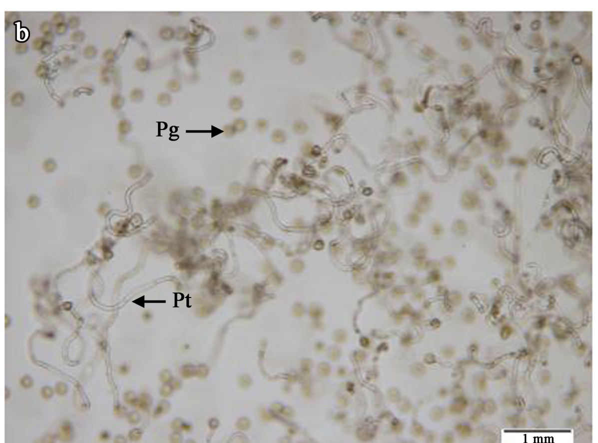


图4　*N. stocktonnii* 花粉与 K326 花粉离体活力对比　a. *N. stocktonnii* 花粉; b. K326 花粉

Fig. 4　The Comparative pollen germination between *N. stocktonnii* and K326 *in vitro*

a. pollen of *N. stocktonnii*; b. pollen of K326; Pt-pollen tubes; Pg-pollen grain

2.4 *N. repanda* 与栽培烟草杂交亲和性

N. repanda 作为父本、栽培烟草作为母本杂交的结果如表 4 所示，*N. repanda* 与 MSK326 杂交后坐果率最高，其次是与 Yun87，Hongda 和 Yun97 的杂交坐果率极低。将 *N. repanda* 作为母本，栽培烟草作为父本杂交结果显示与 Yun97 的坐果率最高，其次是与 K326，Hongda 和 Yun87 的杂交不亲和。图 5 表明，在授粉 12 h 后，*N. repanda* 花粉在 K326 柱头上绝大部分不萌发。*N. repanda* 是否和 *N. stocktonnii* 杂交亲和性相类似？需进一步做花粉离体的萌发实验。图 6 显示，*N. repanda* 花粉在 0.001% 硼酸和 10% 的蔗糖萌发液中 12 h 后，花粉绝大部分都能够萌发和生长。

通过将各杂交后收获的种子做萌发实验发现，各杂交后的种子都不能正常的萌发。

表 4　*N. repanda* 与栽培烟草杂交坐果率

Table 4　The seed set of hybridization between *N. repanda* and *N. tabacum*

杂交组合（♂×♀）Cross combinations	授粉花朵数 No. of flowers pollinated	坐果数 No. of fruits obtained	坐果率 Fruit setting rate/%	萌芽 Germination
N. repanda×K326	124	82	66.1	–
N. repanda×MSK326	178	153	86.0	–
N. repanda×Hongda	140	7	5	–
N. repanda×MS87	135	45	33.3	–
N. repanda×Yun97	51	7	13.7	–
K326×*N. repanda*	89	13	14.6	–
Yun97×*N. repanda*	62	12	19.4	–
Hongda×*N. repanda*	87	8	9.2	–
Yun87×*N. repanda*	27	0	0.0	–

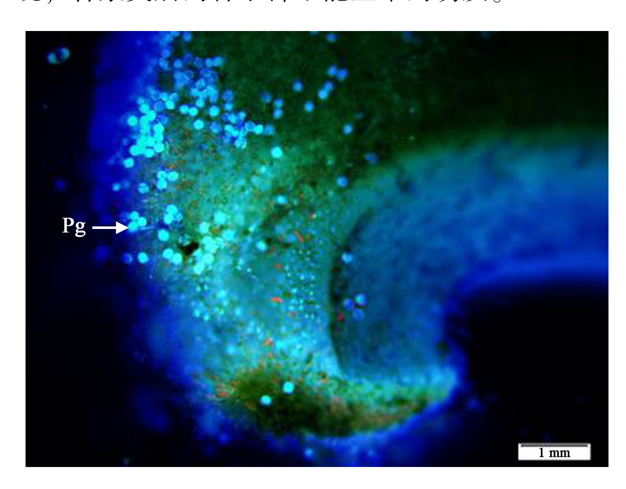


图 5　*N. repanda* 花粉在 K326 柱头上生长

Fig. 5　The growth of *N. repanda* pollen at pistil of K326

Pt–pollen tubes; Pg–pollen grain

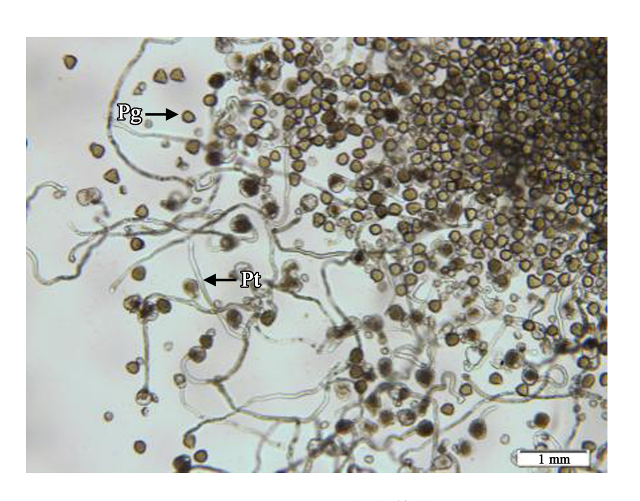


图 6　*N. repanda* 花粉离体萌发

Fig. 6　The *N. repanda* pollen germination *in vitro*

Pt–pollen tubes; Pg–pollen grain

3　讨论

烟草属间杂交不亲和有差异。例如 *N. rustica* 和 K326 杂交与 *N. stocktonnii* 与 K326 杂交不亲和就有差异。*N. rustica* 和栽培烟草 K326 不亲和是由于花粉管在 K326 的花柱中伸长受到了抑制；而 *N. stocktonnii* 花粉在 K326 柱头上萌发率很低，离体萌发实验证明 *N. stocktonnii* 的花粉自身萌发率就很低，提示 *N. stocktonnii* 花粉的萌发和生长需要外界更加苛刻的条件。当然也不能排除作为母本的 K326 的柱头对 *N. stocktonnii* 花粉也会有抑制作用；通过荧光图片图 5 可知，授粉 12 h 后，*N. repanda* 的花粉不能在 K326 柱头上萌发，进一步花粉离体萌发情况发现，*N. repanda* 花粉能够大量的萌发，它提示 K326 的柱头上可能有阻碍 *N. repanda* 花粉萌发的因子。

野生烟草与栽培烟草杂交后，可通过观察结果率和种子萌发情况鉴定是否亲和，但是这种方法有几个显著的缺点。首先，该方法耗时较长，从杂交授粉后到种子收获，这个过程大约需要 1 个月的时间；其次，一旦发生杂交不结实的情况，此方法不能够提供杂交不亲和发生阻碍的部位；再次，这种方法有时难以鉴定杂交是否亲和。例如 *Hongda*（♂）和 *N. rustica*（♀）杂交授粉后，大量的杂交果实并不掉落，子房还会膨

大、坚实，出现大量结果的现象。杂交种子收获后，做种子萌发实验，个别种子还能够萌发生长（图7），这种现象难以判断杂交是否亲和。这可能是由于亲缘较远的花粉不易使得母本的卵细胞受精但是又能刺激卵细胞的单性发育，由此产生单倍体或者经核内复制形成双倍体。已有报道，在远缘杂交情况下，尤其在烟草属、小麦和茄属的39个种中发现了73例；祝仲纯等（1979，1980）在烟草（*N. tabacum*）及黄花烟草（*N. rustica*）中早就发现了类似的现象。鉴于这种情况，利用荧光染色方法，显微观察花粉管在花柱中生长的情况，可以直观和客观反映授粉杂交后的亲和性。一旦发生杂交不亲和的情况，结合定时取样以及不同部位的荧光染色显微观察，能够鉴定各种杂交不亲和发生阻碍的部位。



图7 *Hongda*（♂）与*N. rustica*（♀）杂交后种子萌发
Fig. 7 The seed germination of cross *Hongda* and *N. rustica*

〔参 考 文 献〕

祝仲纯，刘振岳，吴海珊等，1981. 未传粉烟草子房离体培养胚状体的发育［J］. 遗传，**3**（1）：33—33

祝仲纯，吴海珊，安庆坤等，1980. 从未传粉的烟草不育系子房培养出单倍体植株［J］. 遗传，**2**（5）：36—36

Cai M（蔡明），Meng R（孟锐），Pan HT（潘会堂）*et al.*，2010. Intergeneric cross-compatibility between *Lagerstroemia* and *Lawsonia*［J］. *Acta Horticulturae Sinica*（园艺学报），**37**（4）：637—642

Cao HN（曹后男），Piao RZ（朴日子），Zong CW（宗成文）*et al.*，2004. Observation on the pollen germination and the pollen tube behavior under interspecies crossing conditions between peach and plum［J］. *Journal of Fruit Science*（果树学报），**21**（4）：302—307

Chaplin JE，1962. Transfer of black shank resistance from *Nicotiana plumbaginifolia* to flue-cured *N. tabacum* tobacco［J］. *Tobacco Science*，**6**：184—189

Chen MH（陈名红），Chen YJ（陈毅坚），Li TF（李天飞）*et al.*，2006. Study on fusion methods of interspecific mesophyll protoplasts in *Nicotiana*［J］. *Journal of Yunnan Nationalities University*（Natural Sciences Edition）（云南民族大学学报（自然科学版）），**15**（03）：230—234

Chen Q（陈琼），Mu D（穆鼎），Yi MF（义鸣放）*et al.*，2007. Effects of different pollination methods on bypassing pre-fertilization barriers in lily breeding［J］. *Journal of China Agricultural University*（中国农业大学学报），**12**（4）：35—40

Jiang B，Shen ZG，Shen B *et al.*，2009. Germination and growth of sponge gourd（*Luffa cylindrical*）pollen tubes and FTIR analysis of the pollen tube wall［J］. *Scientia Horticulturae*，**122**：638—644

Li SL（李守丽），Shi L（石雷），Zhang JZ（张金政），2006. Pollen tube behavior following pollination between *Cardiocrinum giganteum* and *Lilium*［J］. *Acta Horticulturae Sinica*（园艺学报），**33**（6）：1259—1262

Li XL（李辛雷），Chen FD（陈发棣），Zhao HB（赵宏波），2008. Compatibility of interspecific cross in *Dendranthema* genus［J］. *Acta Horticulturae Sinica*（园艺学报），**35**（2）：257—262

Li XY（李小英），Wang WH（王文和），Zhao JY（赵剑颖）*et al.*，2010. Cytological studies on distant hybridization embryonic development of *Lilium*［J］. *Acta Horticulturae Sinica*（园艺学报），**37**（2）：256—262

Li YL（栗艳龄），Luo FX（罗凤霞），Shen XQ（沈向群）*et al.*，2008. Influences of growth regulating substances on growth of pollen tubes in lily［J］. *Journal of Shenyang Agricultural University*（沈阳农业大学学报），**39**（4）：404—407

Liu HX（刘红霞），2009. Study on characteristics of pollination and fertilization in *Forsythia suspense*（Thumb.）Vahl［D］. Baoding：Hebei Agricultural University

Liu QL，Chen JY，1999. Effects of pollen mentor，growth regulator and embryo culture on interspecific hybridization of *Prunus mume*［J］. *Journal of Beijing Forestry University*，**21**（2）：54—60

Liu SY（刘思余），Zhang F（张飞），Chen SM（陈素梅）*et al.*，2010. Interspecific hybridization between the tetraploid *Chrysanthemum nankingense* and *Ch. grandiflorum* ‘Zhongshanzixing’ and the genetic performance of their F 1 hybrids［J］. *Scientia Agricultura Sinica*（中国农业科学），**43**（12）：2500—2507

Ma RJ（马瑞娟），Du P（杜平），Hu JL（胡金良）*et al.*，2005. Studies on the hybridization compatibility between peach and plum［J］. *Journal of Fruit Science*（果树学报），**22**（3）：283—285

Palakarcheva M，1991. Utilization of the genetic potential of wild species of the genus *Nicotiana*［J］. *Genetika i Selektsiya*，**24**：5342—5348

Sui W（睢薇），Ding XD（丁晓东），Huo JW（霍俊伟），1999. Preliminary studies on distant cross-incompatibility between *Cera-*

sus fruticosa pall. and *C. aviuml*［J］. *Journal of Northeast Agricultural University*（东北农业大学学报）, **30**（2）: 148—153

Sun YH（孙玉合）, Ding CM（丁昌敏）, Zhang LL（张历历）*et al.*, 1998. Interspecific somatic hybridization in tobacco and its application in variety improvement［J］*Chinese Tobacco Science*（中国烟草科学）,（4）: 5—8

Valleau WD, Stokes GW, Johnson EM, 1960. Nine years experience with the *Nicotiana* factor for resistance to *Phytophthora* var. *nicotianae* in the control of black shank［J］. *Tobacco Science*, **4**: 92—94

van Tuyl JM, van Dijkena A, Chi HS, 2000. Break throughs in interspecific hybridization of lily［J］. *Acta Horticulturae*, **508**: 83—88

Wang C（王冲）, Lei JJ（雷家军）, Jiang C（姜闯）*et al.*, 2011. Study on cross-compatibility of interspecific hybridization and selfing in *Clivia* Lindl［J］. *Scientia Agricultura Sinica*（中国农业科学）, **44**（18）: 3822—3829

Wang WH（王文和）, Wang SD（王树栋）, Zhao XY（赵祥云）*et al.*, 2007. Process of pollen sprouting and pollen tube growth on the lily distant hybridization［J］. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*（西北植物学报）, **27**（9）: 1790—1794

Yabuya T, Yamagata H, 1978. Embryological and cytological studies on seed development after reciprocal crosses between *Iris sanguinea* Hormen. and *I. laevigata* Fisch［J］. *Japan Journal of Breeding*, **28**（3）: 211—224

Yang LP（杨利平）, Ma XH（马宪红）, Ding B（丁冰）*et al.*, 1997. Cultivation of hybrid species in genus *Lilium* flowers［J］. *Journal of Northeast Forestry University*（东北林业大学学报）, **25**（1）: 29—32

Yang ZL（杨志玲）, Li JY（李纪元）, Fan ZQ（范正琪）*et al.*, 2004. Studies of the cross-compatibility within sect. *Camellia* and its influencing factors［J］. *Journal of CentralSouth Forestry University*（中南林学院学报）, **24**（4）: 32—36

Zhu GF（朱根发）, Wang BQ（王碧青）, Chen ML（陈明莉）*et al.*, 2005. Study on hybridization among *Cymbidium* species and hybrid *Cymbidium*［J］. *Chinese Bulletin of Botany*（植物学报）, **22**（4）: 445—448